

PERUBAHAN KARAKTERISTIK LISTRIK ELEKTRODA NIKEL AKIBAT SONIKASI PADA PROSES ELEKTROLISIS AIR

M. Rosyid Ridlo

Pusat Penelitian Fisika (P2F)-LIPI
Kawasan Puspiptek Serpong 15314, Tangerang
e-mail : mrridlo@yahoo.com

ABSTRAK

PERUBAHAN KARAKTERISTIK LISTRIK ELEKTRODA NIKEL AKIBAT SONIKASI PADA PROSES ELEKTROLISIS AIR. Elektrolisis air dengan penyertaan teknik sonikasi telah dilakukan dengan tujuan untuk meningkatkan efisiensi sistem energi. Data yang diperoleh menggambarkan terjadinya penurunan nilai *overpotential* sel ketika iradiasi energi ultrasonik (sonikasi) diberikan. Hal ini mengindikasikan adanya peningkatan efisiensi sel elektrolisis. Analisis terhadap *Tafel plot* juga menunjukkan adanya pertambahan luas efektif permukaan elektroda selama sonikasi berlangsung. Dalam paper ini dibahas hasil pengamatan terhadap beberapa parameter yang berpengaruh pada nilai *overpotential* sel yaitu laju transfer elektron dari dan ke permukaan elektroda - elektrolit, resistensi dan kapasitansi elektrolit. Pada setiap *setting* percobaan, digunakan sumber ultrasonik berfrekuensi 20 kHz, 30% KOH sebagai katalis elektrolit dan plat nikel sebagai elektroda sel.

Kata kunci : Nikel, Elektroda, Elektrolisis, Ultrasonik, Sonikasi, Hidrogen

ABSTRACT

ELECTRICAL CHARACTERISTIC CHANGE OF NICKEL ELECTRODE CAUSED BY SONICATION ON WATER ELECTROLYSIS PROCESS. Water electrolysis with applied sonication technique was carried out for the aim of energy system efficiency improvement. The obtained data show reduction of the cell overpotential as ultrasonic irradiation (sonication) involved in the electrolysis process. It indicates the energy conversion efficiency was increased. The Tafel plot analysis pointed out that the effective surface area of electrode raised. In this paper the result on observation parameters affected the value of cell overpotential, i.e : electron transfer rate from/to electrode surface-electrolyte, electrolyte resistance and capacitance were discussed. In each experiment setting, 20 kHz ultrasonic energy source, 30% KOH as electrolyte catalyst, and nickel plate electrode were used.

Key words : Nickel, Electrode, Electrolysis, Ultrasonic, Sonication, Hydrogen

PENDAHULUAN

Dengan adanya isu lingkungan dan problem deplesi bahan bakar minyak bumi (BBM), banyak kalangan melirik kembali hidrogen sebagai energi alternatif. Hidrogen dapat dibakar langsung untuk menghasilkan energi panas, atau dapat pula dialirkan ke piranti *fuel cell* untuk diubah menjadi listrik. Beberapa hal yang menguntungkan dari hidrogen diantaranya *energy content* jauh lebih tinggi dari pada bahan bakar fosil dan dipandang lebih bersih, ramah lingkungan serta terbarukan [1,2].

Untuk memproduksi hidrogen diperlukan cara yang juga lebih bersahabat dengan lingkungan dan sejalan dengan konsep ekonomi hidrogen. Metode tersebut adalah elektrolisis air [3]. Pada prinsipnya cara

ini menggunakan sumber listrik untuk mengurai air menjadi hidrogen dan oksigen. Ketika sumber listrik berasal dari *solar cell* atau *wind turbin*, maka proses elektrolisis dapat digolongkan sebagai *totally free carbon dioxide process*. Karena hanya perlu air dalam proses produksinya, maka hidrogen termasuk sumber energi terbarukan.

Faktanya, hampir 96% seluruh produksi hidrogen di bumi ini dihasilkan dengan menggunakan metode pembakaran gas metan yang dikenal tidak ramah lingkungan [4]. Pilihan terhadap cara tersebut sebagai akibat dari metode elektrolisis yang dipandang belum cukup efektif untuk produksi hidrogen terutama pada skala produksi kapasitas besar. Hukum Faraday dari teori

elektrolisis menyatakan laju produksi hidrogen sebanding dengan besar arus listrik yang diberikan.

Sedangkan di sisi lain, karakteristik khas sel elektrolisis menunjukkan makin besar arus listrik makin rendah nilai efisiensi konversi energi. Dengan demikian pada kapasitas produksi besar sistem elektrolisis mengalami penurunan efisiensi konversi energi. Pada piranti sistem elektrolisis air yang telah beredar di pasar rata-rata berefisiensi maksimal 60%. Ini berarti hampir setengah energi listrik yang diberikan tidak dikonversi menjadi hidrogen. Pada akhirnya, produksi yang tidak efisien menyebabkan harga hidrogen tidak kompetitif.

Berbagai upaya penelitian untuk meningkatkan nilai efisiensi sel terus dilakukan baik dari disain konstruksi sel, pemilihan bahan untuk elektroda, membran diafragma hingga jenis elektrolit yang digunakan [5].

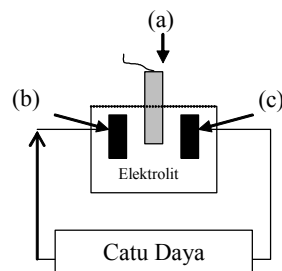
Pada makalah ini penulis mencoba menggunakan energi ultrasonik untuk meningkatkan efisiensi sel elektrolisis. Ide ini didasarkan atas teori kavitasi dalam *sonochemistry* yang menyatakan energi ultrasonik yang diiradiasikan dalam suatu larutan kimia menyebabkan tumbuhnya *micro bubble* dalam larutan tersebut [6]. Dalam orde mikrodetik, *bubble* akan meledak dengan menghasilkan tekanan dan panas yang sangat tinggi disekitar posisinya. Kondisi seperti itu akan mampu memutuskan ikatan ionik molekul senyawa larutan. Tatkala fenomena ini diterapkan dalam sel elektrolisis akan membantu memudahkan terurainya atom hidrogen dan oksigen.

Dengan teori ini dihipotesiskan bahwa proses elektrolisis akan lebih cepat terjadi jika kedalam larutan diiradiasikan energi ultrasonik (sonikasi). Percobaan yang telah dilakukan menunjukkan fenomena ini terjadi [7,8]. Berbagai penjelasan mengenai fenomena ini masih terbatas pada penjelasan kualitatif. Pada paper ini penulis akan memaparkan beberapa percobaan tentang perubahan resistensi total sel selama sonikasi.

METODE PERCOBAAN

Pengamatan Pertambahan Luas Efektif Permukaan

Untuk mendapatkan kurva polarisasi yaitu kurva antara tegangan sel elektrolisis terhadap arus disusun percobaan seperti pada Gambar 1 [9].



Gambar 1. Set-up percobaan untuk mendapatkan kurva polarisasi ; (a). *ultrasonic horn*, (b). anoda dan (c). katoda

Di sini digunakan frekwensi ultrasonik 20 kHz, larutan 30% KOH dan elektroda nikel berpenampang silinder dengan luas 0,196 cm². Pemilihan konsentrasi KOH sebesar 30% didasarkan atas data eksperimen yang menunjukkan bahwa pada konsentrasi ini konduktivitas KOH bernilai maksimum [10]. Dengan demikian efisiensi sel paling tinggi pada penggunaan elektrolit KOH dengan konsentrasi tersebut.

Pada percobaan ini digunakan sumber arus tetap dengan *horn* ultrasonik yang dicelupkan ke dalam larutan elektrolisis. Dari kurva polarisasi dapat diturunkan persamaan Tafel :

$$V = a + b(\log I/A) \quad (1)$$

dimana :

V = Tegangan sel

I = Besar arus

A = Luas permukaan elektroda

b = Kemiringan atau *Tafel slope*

a = Konstanta

Dari garis lurus antara tegangan sel, V sebagai fungsi ($\log I/A$) yang disebut dengan *Tafel Plot* dapat diperoleh nilai *Tafel slope* (b) dan a yang merupakan titik perpotongan pada sumbu V .

Dari dua *Tafel Plot* yang diketahui nilai a dan b nya maka dapat dihitung perubahan luas permukaan elektroda efektif (A) dari masing masing proses tanpa dan dengan sonikasi.

Rangkaian Ekuivalen Resistansi Elektrolit

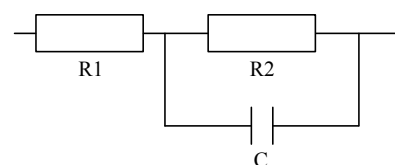
Pada proses elektrolisis tegangan sel dapat dituliskan:

$$V = V_{\text{elektrokimia}} + R_{\text{tot}} I$$

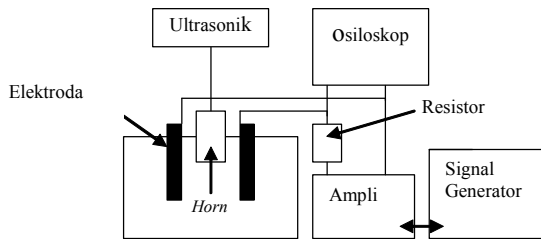
$R_{\text{tot}} I$ disebut sebagai *overpotential* dan $V_{\text{elektrokimia}}$ adalah besar tegangan untuk memutus ikatan ion oksigen dengan hidrogen. Rangkaian ekuivalen R_{tot} dapat dinyatakan seperti Gambar 2 dengan $R1$, $R2$ dan C masing masing adalah resistensi disebabkan oleh adanya energi aktivasi elektroda, resistensi *ohmic* larutan elektrolit dan kapasitansi *double layer*.

Pengamatan Resistensi Elektrolit

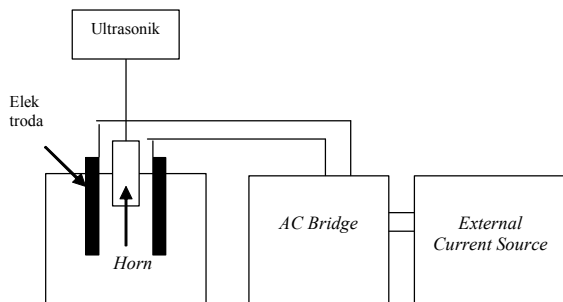
Untuk mengukur resistansi elektrolit, digunakan metode *current interrupter*[11]. Metode ini menggunakan arus listrik bentuk persegi sehingga



Gambar 2. Rangkaian ekuivalen sel elektrolisis



Gambar 3. Set-up metode current interrupter



Gambar 4. Set-up eksperimen untuk mengukur kapasitansi sel

tegangan akibat *ohmic* resistansi dapat dibedakan dari tegangan sel secara keseluruhan. Set-up percobaan seperti pada Gambar 3.

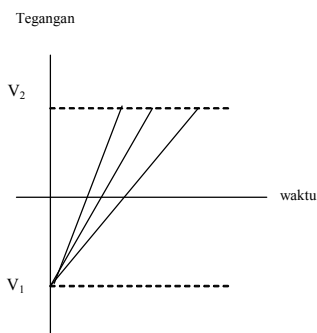
Pengamatan Kapasitansi Elektrolit

Pada proses elektrolisis terdapat fenomena adanya perubahan kapasitansi sel. Kapasitansi ini muncul pada *interface* elektroda-elektrolit yang dikenal sebagai *double layer capacitance*. Perubahan kapasitansi akan berpengaruh terhadap tegangan kerja sel. Pengukuran kapasitansi dilakukan dengan menggunakan metode *AC Bridge*. Set-up percobaan tampak pada Gambar 4 [11].

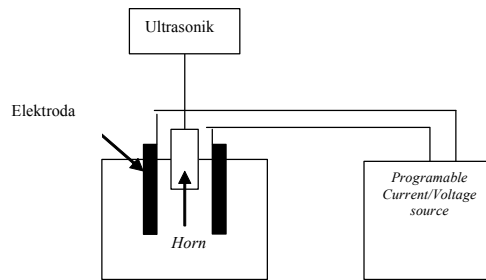
Pengamatan Laju Transfer Elektron

Untuk mengetahui laju transfer elektron dilakukan percobaan menggunakan metode *Linier Swept Voltametry* (Gambar 5) [11].

Sebuah *current source* diprogram untuk menghasilkan beberapa nilai tegangan dari terkecil hingga terbesar dengan kenaikan pada *range* waktu



Gambar 5. Metode Linier swept voltametry



Gambar 6. Set-up percobaan mengukur laju transfer elektron elektroda-elektrolit

tertentu dan *set-up* percobaan seperti ditunjukkan pada Gambar 6. Dari kurva I-V yang diperoleh dapat diketahui efek iradiasi pada nilai laju transfer elektron.

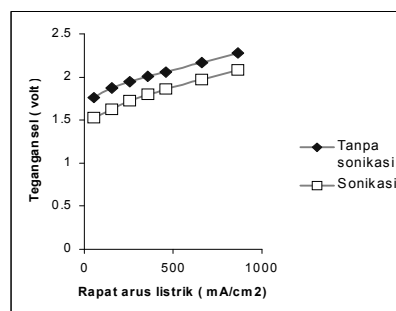
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengamatan Luas Efektif Elektroda

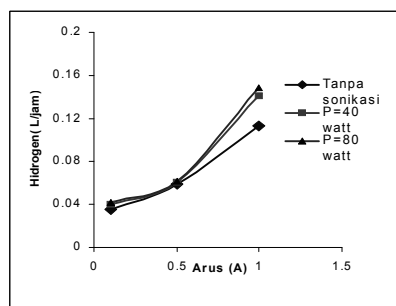
Proses sonikasi berakibat pada penurunan tegangan sel (Gambar 7). Karena efisiensi didefinisikan sebagai perbandingan antara tegangan elektrokimia dengan tegangan sel, maka dapat dikatakan penurunan ini menunjukkan efisiensi proses meningkat. Pengukuran terhadap jumlah hidrogen yang dihasilkan juga menunjukkan adanya peningkatan kecepatan produksi gas ini.

Pengamatan mencatat, besar daya ultrasonik yang diberikan tidak berbanding lurus dengan pertambahan kecepatan produksi (Gambar 8).

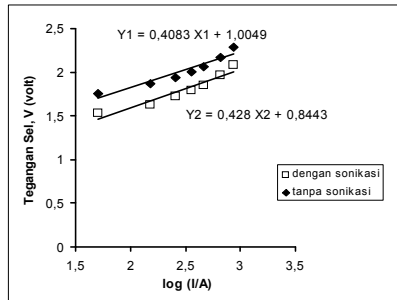
Dengan menggunakan Persamaan 1 maka dapat digambarkan *Tafel plot* seperti terlihat pada Gambar 9. Tiap *plot* mewakili luas permukaan efektif elektroda yang



Gambar 7. Penurunan *overpotential* sel akibat sonikasi



Gambar 8. Peningkatan kecepatan produksi hidrogen akibat sonikasi



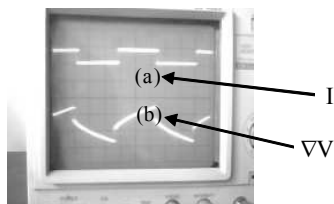
Gambar 9. Perbandingan *Tafel plot* akibat sonikasi dan tanpa sonikasi

berbeda. *Plot* kedua yang terletak lebih bawah memperlihatkan kurva untuk proses dengan sonikasi. Terlihat sonikasi mengakibatkan luas permukaan efektif mengalami perubahan. Di sini luas efektif didefinisikan sebagai luas permukaan total elektroda yang terlibat dalam proses reaksi elektrokimia. Cacat pada permukaan, impuritas yang tidak dikehendaki serta korosi dapat mengurangi luas permukaan efektif elektroda. Kemiringan/*slope* pada kurva sonikasi sebesar 0,428 dan memotong sumbu V pada nilai 0,8443. Dari kalkulasi menggunakan Persamaan 1 diperoleh nilai A rata-rata sebesar 0,21 cm². Mengingat luas elektroda nikel yang dipakai 0,196 cm² maka dengan demikian dapat disimpulkan telah terjadi penambahan luas efektif selama proses sonikasi.

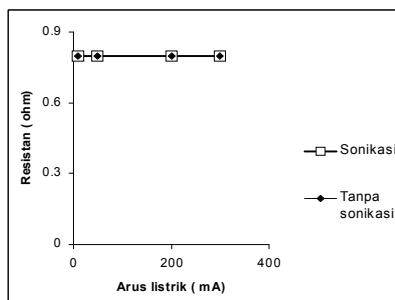
Pengamatan Resistensi Elektrolit

Bentuk arus listrik yang diberikan dan tegangan keluaran dapat dilihat melalui osiloskop seperti tampak pada Gambar 10.

Tegangan pada elektrolit mirip seperti fenomena pada kapasitor. Hanya saja di sini terdapat ∇V yang merupakan tegangan akibat resistansi elektrolit.



Gambar 10. (a) Bentuk arus persegi sebagai masukan dan (b) Bentuk potensial yang dihasilkan pada elektroda sel



Gambar 11. Pengamatan resistensi elektrolit dengan dan tanpa sonikasi

Besar resistansi dapat dihitung melalui hubungan ohmik $R_{\text{elektrolit}} = \nabla V / I$.

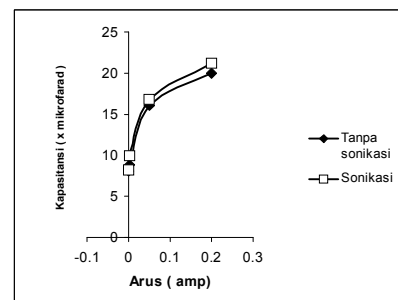
Dari *set-up* eksperimen seperti di atas dapat diperoleh hubungan iradiasi ultrasonik dengan perubahan resistensi elektrolit. Pada Gambar 11 terlihat sonikasi tak berpengaruh terhadap besar resistansi meski arus telah divariasikan dari kecil hingga arus besar. Ini terlihat dari berhimpitnya kurva resistensi dengan dan tanpa sonikasi.

Pengamatan Kapasitansi Double Layer

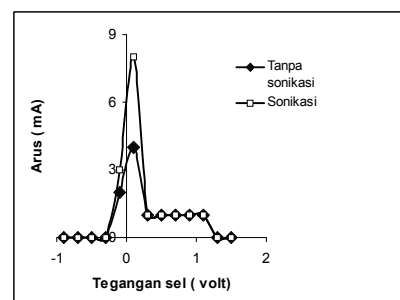
Pada Gambar 12 tampak sonikasi menyebabkan pertambahan nilai kapasitansi sel. Bentuk kurva yang tidak linier diperkirakan disebabkan kecepatan ionisasi dalam elektrolit jauh lebih cepat dari pada kecepatan transfer elektron ke elektroda. Akibatnya pada arus yang lebih besar lebih banyak ion yang terakumulasi dan merapat ke masing-masing permukaan elektroda sesuai jenis muatannya. Ini dapat dimengerti karena energi ultrasonik menimbulkan kavitasi yang dapat mempercepat proses terputusnya ikatan ion elektrolit (ionisasi) [6]. Peningkatan kapasitansi berbanding terbalik dengan impedansi. Dengan demikian impedansi yang turun berakibat pada penurunan tegangan sel.

Pengamatan Laju Transfer Elektron

Gambar 13 memperlihatkan kurva I-V sebagai hasil pengukuran dengan metode *Linier Swept Voltametry (LSV)*. Ketika sonikasi dilakukan terjadi kenaikan arus terutama pada tegangan 0,1 volt. Pada tegangan yang lebih tinggi, besar arus tampak sama. Jika dibandingkan



Gambar 12. Perubahan kapasitansi sel tanpa dan dengan sonikasi



Gambar 13. Hasil pengamatan menggunakan metode *linier swept voltametry*

dengan simulasi teoritik kenaikan ini mengindikasikan terjadi penambahan laju transfer elektron dari permukaan elektroda ke elektrolit. Akibatnya arus sel mengalami peningkatan atau *overpotential* mengalami penurunan. Diperkirakan proses kavitasi membuat energi aktivasi menjadi lebih kecil sehingga elektron lebih mudah melompat dari elektroda ke elektrolit. Pada tegangan rendah kontribusi sonikasi ini cukup besar pada penurunan *overpotential*.

KESIMPULAN

Data pengamatan menunjukkan sonikasi atau iradiasi ultrasonik dalam larutan elektrolit sel elektrolisis dapat menurunkan nilai *overpotential* sel. Analisis pada *Tafel Plot* mengindikasikan adanya pertambahan luas efektif elektroda selama proses sonikasi. Pertambahan luas efektif dapat diartikan bahwa resistansi total sel mengalami penurunan, sehingga *overpotential* sel juga turun. Sonikasi berpengaruh terhadap peningkatan laju tranfer electron dari elektroda ke elektrolit. Efek ini lebih mudah diamati pada tegangan rendah.

Peningkatan laju ini terkait dengan penurunan energi aktivasi yang selanjutnya dapat menurunkan *overpotential* sel. Kapasitansi sel juga mengalami peningkatan, yang berarti impedansi kapasitif sel mengalami penurunan. Hal ini memberi sumbangan pada penurunan *overpotential*. Sedangkan hambatan elektrolit tidak mengalami perubahan.

DAFTAR ACUAN

- [1]. G. DUTTON, *Hydrogen : The Fuel for Future*, Tyndall Center for Climate Change Research, London, (2003)
- [2]. R. J. SPRAFKA, et al, Hydrogen from Renewable Energy-Photovoltaic/Water Electrolysis as an Exemplary Approach, *Proceedings of the Twentieth Space Congress, Cocoa Beach, FL*, (1983)
- [3]. SVEIN SUNDE, *Electrolysis for Hydrogen Production*, Dept. of Material Science, Sen Saelans Veig, Trondheim Denmark, (2006)
- [4]. Natural gas reforming http://www1.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/production/natural_gas.html.
- [5]. I. DARDIK, et al, Progress in Electrolysis Experiments at Energetic Technology, *Proc. of 12th International Conference on Condensed Matter Nuclear Science*, Yokohama Japan, (2005)
- [6]. J. W. DAVID, *Sonoelectrochemistry-The Application of Ultrasound in the Electrochemical System*, Arkivoc (iii) (2002) 198-218
- [7]. M. ROSYID RIDLO dkk, Pengaruh Gelombang Ultrasonik pada Sel Elektrolisis Air, *Prosiding Seminar Nasional Kimia : Peranan Kimia dalam Membangun Kemandirian Masyarakat di Era Pasar Bebas di Universitas Indonesia Jakarta*, (2007)
- [8]. B. CORY et al, Electroanalytic Effect of Ultrasound on Hydrogen Evolution Reaction in KOH, *Proc. 33rd IEEE Photovoltaic Specialist Conference*, USA, (2008)
- [9]. M. ROSYID RIDLO dkk, Agitasi Ultrasonik pada Elektroda Sel Elektrolisis, *Prosiding Seminar Nasional : Teknologi Untuk Kesejahteraan yang Berkelanjutan di Universitas Teknologi Yogyakarta*, (2008)
- [10]. WALT PILEY et al, Solar hydrogen production by electrolysis, www.dangerouslaboratories.org/h2homesystem.pdf
- [11]. M. ROSYID RIDLO, ACHIAR OEMRY, Efek Sonikasi pada Resistansi Elektrolit Sel Elektrolisis Untuk Produksi Hydrogen, *Prosiding Seminar Nasional : Perkembangan Riset dan Teknologi dibidang Industri ke 14 di FT-UGM Yogyakarta*, (2008)
- [12]. M. ROSYID RIDLO, ACHIAR OEMRY, Mekanisme Penurunan Overpotensial Sel Elektrolisis Akibat Iradiasi Ultrasonik, *Prosiding Seminar Nasional Kimia dan Pendidikan Kimia IV : Peran Kimia dan Pendidikan Kimia dalam Meningkatkan Literasi Sains Masyarakat di UPI Bandung*, (2008)